

PAT-NO: JP02002262489A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002262489 A  
TITLE: WIND POWER GENERATION SYSTEM  
PUBN-DATE: September 13, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KIN, KOUCHIYUU	N/A
UEDA, SHIGETA	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP2001053426  
APPL-DATE: February 28, 2001

INT-CL (IPC): H02K001/27, F03D007/04 , F03D009/00 ,  
H02K001/22 , H02K015/03  
                  , H02K016/02 , H02K021/14 , H02P009/00 ,  
H02P009/48

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the weak field system of  
the magnetic flux  
of a permanent magnet.

SOLUTION: The rotor of a permanent magnet rotary  
electric machine is divided  
to enable relative motion.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-262489

(P2002-262489A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002.9.13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-リ-ト*(参考)
H 0 2 K 1/27	5 0 1	H 0 2 K 1/27	5 0 1 A 3 H 0 7 8
			5 0 1 K 5 H 0 0 2
F 0 3 D 7/04		F 0 3 D 7/04	H 5 H 5 9 0
9/00		9/00	B 5 H 6 2 1
H 0 2 K 1/22		H 0 2 K 1/22	A 5 H 6 2 2
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-53426(P2001-53426)

(22) 出願日 平成13年2月28日 (2001.2.28)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 金 弘中

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 上田 茂太

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

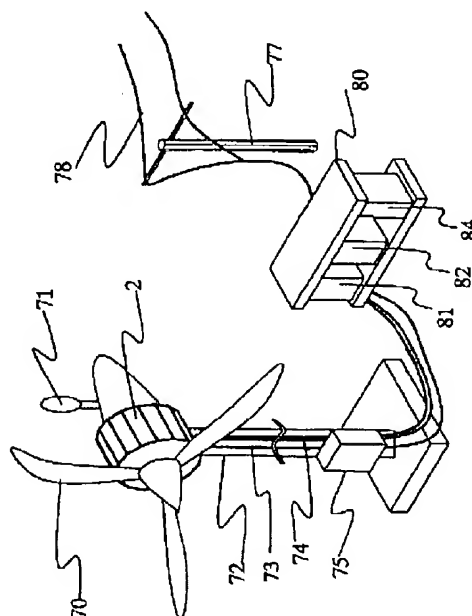
(54) 【発明の名称】 風力発電システム

(57) 【要約】

【課題】永久磁石の磁束の弱め界磁を可能とする。

【解決手段】永久磁石回転電機の回転子を分割し相対運動可能とする。

図 1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】翼を装着する主軸と、前記翼の回転力を伝達する主軸と結合された発電機と、前記発電機の電力を変換するインバータと、前記インバータを制御するコントローラと、風速条件に合った翼のピッチを制御する手段と、ブレーキと、風速風向計からなる風力発電システムにおいて、

前記発電機は一次巻線を有する固定子と界磁用磁石を有する回転子からなり、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の界磁用磁石とこの第1の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第2の界磁用磁石からなり、前記の第1と第2の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子のトルク方向に伴い変化させる機構を有し、このトルク方向に伴い変化させる機構は、回転子に発生するトルク方向と第1と第2の界磁用磁石間の磁気作用力との釣合いにより前記第1と第2の界磁用磁石の同磁極中心を一致させる手段と、回転子に発生するトルク方向が反対になるに伴い第1と第2の界磁用磁石の磁極中心をずらす手段とを有する発電機を用いる風力発電システム。

【請求項2】請求項1記載の風力発電システムにおいて、前記発電機は前記第1と第2の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段と、第1と第2の界磁用磁石の磁極中心がずれる手段とを有し、トルク方向の変化に伴い磁極中心を変化させる機構は、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトと第2界磁用磁石は磁極1極分の角度内で変位可能にし、前記第1界磁用磁石の磁極中心と第2界磁用磁石の磁極中心をずらすようにした発電機を用いる風力発電システム。

【請求項3】請求項1または請求項2記載の発電機において、トルク方向の変化に伴い磁極中心を変化させる機構は、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続し、第2界磁用磁石の側面から離れたところにはストッパーを設け、ストッパーを回転速度に応じてシャフトと平行に可変可能なサーボ機構を持たせた発電機を用いる風力発電システム。

【請求項4】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれに応じて前記インバータを制御するコントローラによる電流供給の進角を補正することを特徴とする発電機。

【請求項5】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2

界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続し、前記第2界磁用磁石の軸方向の変位量を検出し、第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれ角に対応させ前記インバータを制御するコントローラによる電流供給の進角を補正することを特徴とする発電機。

【請求項6】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第2界磁用磁石と前記シャフト間には回転運動と往復運動及び複合運動を案内出来る支持機構を複数個備えたことを特徴とする発電機。

【請求項7】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第2界磁用磁石の前後にはばねを複数個備えて、前記第2界磁用磁石の回転運動と往復運動及び複合運動を案内する特徴とする発電機。

【請求項8】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、かつ前記第2界磁用磁石の内側とシャフトの間にはスリーブを介して、前記第2界磁用磁石と前記スリーブを固定したことを特徴とする発電機。

【請求項9】請求項8のスリーブは、鉄より電気抵抗率が高い非磁性体を用いたことを特徴とする発電機。

【請求項10】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第1界磁用磁石と前記第2界磁用磁石が接する前記第1界磁用磁石側面に凹部を設け、前記第2界磁用磁石には前記スリーブの機能を兼ねた突起部を設けた構造を特徴とする発電機。

【請求項11】請求項1から3記載の発電機において、前記第1の界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、第2界磁用磁石の側面から離れたところにはストッパーを設け、前記ストッパーは第2界磁用磁石とシャフトに対して回転運動と往復運動及び複合運動を案内する支持機構を備えたことを特徴とする発電機。

【請求項12】請求項1から3記載の発電機において、前記第1の界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、第1界磁用磁石を有する回転子と前記固定子間のエアギャップより第2界磁用磁石を有する回転子と前記固定子間のエアギャップの方が大きくしたことを特徴とする発電機。

【請求項13】請求項1から請求項3記載の風力発電システムにおいて、前記発電機の低速運転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置を一致させ、

高速運転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置をずらして運転する発電機を用いることを特徴とする風力発電システム。

【請求項14】請求項1記載の風力発電システムにおいて、前記発電機の一方向の回転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置を一致させ、他方の回転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置をずらして運転する発電機を用いることを特徴とする風力発電システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は永久磁石を界磁に用いた発電機に係り、特に風力発電システムの発電機およびその制御方法に関し、発電機の回転子が第1界磁用磁石と第2界磁用磁石から構成され、トルク方向に応じて第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置を変化し、かつ回転数に応じて有効磁束量の変化が可能な発電機およびその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術による永久磁石界磁形発電機において、誘導起電力 $E$ は回転子に配置されている永久磁石が発生する一定磁束 $\Phi$ と発電機の回転角速度 $\omega$ によって決定される。つまり、発電機の回転角速度 $\omega$ （回転数）が上昇すると、発電機の誘導起電力は比例して上昇する。

【0003】よって、低速領域で高トルクが得られるが、回転数の可変範囲が狭いために高速領域の運転は困難であった。そこで、弱め界磁制御技術により高速運転領域を広げることが考えられる。

【0004】また、風力発電システムの発電機は広い速度範囲で所定の出力を確保するためにギア機構やピッチモータ等を備えて、さまざまな風速条件に対応できるようにした。発電機の各相巻線を主軸の回転速度に応じて巻線切り換え装置を用いて、低速用巻線と高速用巻線に切り換えて駆動するようにしているものもある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来技術で述べた弱め界磁制御技術により高速運転領域を広げることが、弱め界磁電流による発熱や効率低下などにより限界がある。

【0006】各相巻線を主軸の回転速度に応じて巻線切り換え装置を用いた場合は、発電機本体からのリード線の数が多く、さらに巻線切り換え制御装置とその構造が複雑になる問題点などがある。

【0007】構造が複雑になると、その分風力発電システムのナセル部の重量が増加し、タワーの構造を強化するなどの必要が生じる。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明では、翼を装着する主軸と、前記翼の回転力を伝達する主軸と結合された発電機と、前記発電機の電力を変換するインバータと、

前記インバータを制御するコントローラと、風速条件に合った翼のピッチを制御する手段と、ブレーキと、風速風向計からなる風力発電システムにおいて、前記発電機は一次巻線を有する固定子と界磁用磁石を有する回転子からなり、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の界磁用磁石とこの第1の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第2の界磁用磁石からなり、前記の第1と第2の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子のトルク方向に伴い変化させる機構を有し、このトルク方向に伴い変化させる機構は、回転子に発生するトルク方向と第1と第2の界磁用磁石間の磁気作用力との釣合いにより前記第1と第2の界磁用磁石の同磁極中心を一致させる手段と、回転子に発生するトルク方向が反対になるに伴い第1と第2の界磁用磁石の磁極中心をずらす手段とを有する発電機を用いる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施形態について説明する。

【0010】図1は本実施例の永久磁石形同期発電機を配置した風力発電システムの概略を示したものである。

【0011】図1はタワー72の上部には翼70と発電機2と、風速風向計71が設けられ、前記発電機からは制御ケーブル73とパワーケーブル74を通して、変電設備ハウス80に連結され、電力は送電線78に送られるようになっている。

【0012】前記変電設備ハウス80と発電機2が設けられているタワー72の間に制御盤75を設け、開閉器や各種ケーブルの中間接続端子などが内装されている。

【0013】また、前記変電設備ハウス80には変圧器81とインバータ82と、前記インバータを制御するコントローラ84等が設けられ、風力発電機の発電電力が系統へ送られる。インバータ82では、電圧変動や出力変動の対策を行う機能も持つ。

【0014】図2は前記タワー72上部の構成要素の概略を示す。

【0015】図2において、各翼70は主軸85に装着され、前記主軸と発電機2が結合された構造である。

【0016】また、前記翼70のピッチを制御する手段として、翼の数に合わせて複数個のピッチモータ89が設けられ、前記風速風向計71から検知された風の方向に合わせてタワー上部を回転させるヨーギア88が設けられている。主軸85と発電機2の間にはブレーキ87が設けられ、非常時や前記風速風向計71から検知された風速が一定速度以上になると、翼70を風に対して直角になるように制御して回転を停止させる。更に、主軸と発電機間には増速機86を設けて、前記発電機の回転速度を増速して発電機の小型化を狙う方式もあれば、前

記増速機86無し(ギアレシ)のダイレクト方式もある。ギアレシダイレクト方式はギアによる騒音がなく保守も容易である。勿論、本発明の発電機2は二つの方式にも適用可能である。

【0017】図3は図1の発電機の回転子同磁極中心がずれた場合の概略を示す。

【0018】図3において、固定子鉄心10には電機子巻線11がスロット内に巻装されており、内部に冷媒が流れる冷却路12をもったハウジング13に結合されている。

【0019】永久磁石埋め込み型回転子20はシャフト22に固定した第1回転子20Aとシャフト22と分離した第2回転子20Bからなる。勿論、永久磁石埋め込み型回転子のみならず、表面磁石型回転子でも良い。

【0020】第1回転子20Aには、永久磁石21Aが回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる。同じく、第2回転子20Bには、永久磁石21Bが回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる。第1と第2回転子の2つの回転子を同一軸上に配置した界磁用磁石は固定子磁極に対向している。

【0021】第2回転子20Bの内径側はナット部23Bとなり、それに当たるシャフトにはボルトのネジ部23Aとなり、お互いにネジの機能を持たせて接続すると、第2回転子20Bはシャフトに対して回転しながら軸方向に可変可能とする。

【0022】また、第2回転子20Bが固定子の中心から所定の変位以上はみ出さないように前記第2回転子20Bの側面から離れたところにはストッパ24を設ける。さらに、サーボ機構であるストッパ駆動用アクチュエータ25を設けて、前記ストッパ24をシャフトと平行に左右に可変可能にすれば、第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心のずれる値を変えることが出来る。結果的には、電機子巻線11がスロット内に巻装されている固定子に対して、第1界磁用磁石と第2界磁用磁石からなる全体の有効磁束量を制御可能である。

【0023】上記のようにすることで、トルク方向に応じて永久磁石の有効磁束量を変化することについて述べる。

【0024】基本的に固定子には電機子巻線と回転子には永久磁石を用いる発電機において、回転子の回転方向が反対になれば、トルク方向も反対になる。同じく、同じ電動機と働く時、回転子の回転方向が反対になれば、トルク方向も反対になる。

【0025】また、電動機として働く時と、発電機として働く時の回転子の回転方向が同じであれば、電動機として働く時と、発電機として働く時の回転子を受けるトルク方向は反対になる。

【0026】上記に説明した回転方向とトルク方向による基本理論を本発明の実施形態に係る発電機に適用すると以下の通りである。

【0027】本発明の発電機が風力の広い範囲で高効率発電を行う一つの実施例として、二つに分割された回転子は以下の状態で運転されれば良い。風が弱い低速回転領域においては、図4に示すように、第1回転子20Aと第2回転子20Bの同磁極の中心が揃えるようにして、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を多くし、高出力特性が得られるようにする。

【0028】次に、風が強い高速回転領域においては、図5に示すようにシャフト22に対して第2回転子20Bはボルトのネジ部からナット部が外れるように第1回転子20Aと第2回転子20Bの間の間隔が広がりながら同磁極の中心がずれて、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を少なくすることになり、言い換えると弱め界磁効果があり、高回転領域において定出力特性が得られる。

【0029】第1回転子20Aと第2回転子20Bの間の間隔が広がりながら同磁極の中心がずれて、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量が少ない状態の概略を図5に示す。

【0030】図4と図5にはボルトの頭部61、ボルトのネジ部60とナット部62に対応して書いたのがあるが、ボルトの頭部61は第1回転子20A、ナット部62は第2回転子20Bに相当するものである。ボルトのネジ部60(図3内の23Aに相当する)が同じ方向に回転するとすれば、ナット部62にかかるトルク方向によって該ナット部62は締まったり外れたりするように、第2回転子20Bも回転子のトルク方向によって同じ働きをする。

【0031】また、正回転と逆回転の時はトルク方向が反対になり、正回転の時には図4に示す状態ならば、逆回転の場合には図5の状態になる。

【0032】勿論、第2回転子20Bの内径側はナット部23Bとなり、それに当たるシャフトにはボルトのネジ部23Aとなり、お互いにネジの機能を持たせて接続するが、ネジの方向を反対にすれば(例えば右ネジから左ネジ)図4と図5の状態が反対になるが、同様に同じ効果が得られる。

【0033】例えば、風が弱い時、正回転の低速回転領域においては、図4に示すように、第1回転子20Aと第2回転子20Bの同磁極の中心が揃えるようにしたネジの組合せにすれば、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量が多くなり、高出力特性が得られる。

【0034】次に、風が強い時、前記翼70のピッチ制御を行い逆回転になれば、高速回転領域になっても、図5に示すようにシャフト22に対して第2回転子20Bはボルトのネジ部からナット部が外れるように第1回転子20Aと第2回転子20Bの間の間隔が広がりながら同磁極の中心がずれて、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量が少なくなり、言い換えると弱め界磁効果があり、高回転領域において高出力特性が得られ

る。

【0035】本発明の発電機による誘導起電力の作用について説明する。

【0036】図6に永久磁石形同期発電機の回転角速度に対する有効磁束、誘導起電力、端子電圧の特性を示す。

【0037】永久磁石形同期発電機の誘導起電力 $E$ は回転子に配置されている永久磁石が発生する一定磁束 $\Phi$ と発電機の回転角速度 $\omega$ によって決定される。つまり図6(a)に示す様に、回転子に配置されている永久磁石が発生する一定磁束 $\Phi_1$ が一定ならば、回転角速度 $\omega$ （回転数）が上昇すると、発電機の誘導起電力 $E_1$ は比例して上昇する。しかし、電源システムシステムの端子電圧とインバータの容量などからインバータの出力電圧は制限があり、定常運転状態の発電機が発生する誘導起電力も制限がある。そのため永久磁石形同期発電機では、ある回転数以上の領域では永久磁石が発生する磁束を減らす、いわゆる弱め界磁制御を行わなくてはならない。

【0038】誘導起電力が回転角速度に比例して上昇するため、弱め界磁制御の電流も大きくしなければならない故に、1次導体であるコイルに大電流を流す必要があり、おのずとコイルの発生する熱が増大する。そのため、高回転領域における発電機としての効率の低下、冷却能力を超えた発熱による永久磁石の減磁等が起こりうる可能性がある。

【0039】例えば、図6(a)に示す様に、回転子に配置されている永久磁石が発生する磁束 $\Phi_1$ がある回転角速度 $\omega_1$ （回転数）のポイントで磁束 $\Phi_2$ に変わると、発電機の誘導起電力 $E_1$ から誘導起電力 $E_2$ 特性に変化することで誘導起電力の最大値を制限することが可能である。

【0040】図6(b)は同様に回転角速度 $\omega$ （回転数）に応じてより細かく磁束 $\Phi$ が変われば、誘導起電力 $E$ も一定に保つことが可能であることの概略を示す。

【0041】図6に示した特性を得る手段の実施例の一つとして、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続し、第2界磁用磁石の側面から離れたところにはストッパーを設け、ストッパーを回転速度に応じてシャフトと平行に可変可能なサーボ機構を持たせた発電機を用いることで可能である。

【0042】図6に主軸発電機の制御回路の構成図を示す。

【0043】図6は図1の発電機2の制御ブロック図を示したものである。

【0044】まず、制御盤（図1内84、若しくは75）から設定された情報、前記風速風向計71からの情報、および永久磁石形同期発電機2の回転数を基に、運

転判断部101が永久磁石形同期発電機2の運転動作を判断して電流指令値を出力する。運転判断部101から出力された電流指令値は、現在の永久磁石形同期発電機2の電流値との差分に対して非干渉制御等を行っている電流制御ブロック102に入力する。

【0045】電流制御ブロック102からの出力は回転座標変換部103で3相の交流に変換され、インバータ104を介して永久磁石形同期発電機2を制御する。また、永久磁石形同期発電機2の各相の電流（少なくとも2相の電流）および回転数を検出し、各相の電流は2軸変換ブロック105で、2軸電流に変換し、電流指令値にフィードバックしている。また、回転数、磁極位置からは検出器106で検出され、磁極位置変換部107と速度変換部108らを通して各制御ブロックにフィードバックされる。

【0046】尚、図7における実施例では、発電機2の位置・速度センサ、ならびに発電機の電流センサがある場合のものを示したが、これらの一部のセンサを排除し、センサレスにより発電機2タイプの制御構成のものでも、同様に実施可能である。

【0047】また、本発明の実施の形態の永久磁石形同期発電機は、運転状況に応じて第1回転子と第2回転子の同磁極中心を一致させるようにしたり、ずらしたりすることができるので、前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれに応じて前記インバータを制御するコントローラによる電流の進角を補正する機能を持つ。

【0048】電流の進角を補正する実施例について述べる。

【0049】前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続して運転すると、第2界磁用磁石は回転しながら軸方向に左右に移動する。

【0050】運転状況に応じて第1回転子と第2回転子の同磁極中心を一致させたり、ずらしたりする場合の回転角と軸方向変位量の関係を図15に示す。

【0051】図15において、第2回転子の回転角 $\theta$ と軸方向変位量 $\Delta L$ は比例関係であり、変位測定器64を用いて軸方向変位量 $\Delta L$ を測定し、制御回路の位置検出回路（図7内106）にフィードバックされ第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれ角に換算した値として、電流の進角を補正する最適制御に用いる。

【0052】図8は本発明の他の実施形態をなす発電機を示す。

【0053】前記第1回転子20Aはシャフト22に固定し、前記第2回転子20Bはシャフト22と分離すると共に、シャフトの一部にはボルトのネジ部23Aと第2界磁用磁石の内側にスリーブ41を固定し、かつスリ

ープ41の内側にナット部23Bを固定したものを一体化すれば、シャフト22に対して第2回転子20Bはボルトのネジ部からナット部が外れるように、第1回転子20Aと第2回転子20Bの間隔が広がりながら回転する。

【0054】第2界磁用磁石の内側とシャフト22間にはわずかな遊びがあるので、回転と共に第2界磁用磁石の内側とシャフト22間に鎮交磁束の変化が生じると、電食等の障害があるが、前記スリーブ41は鉄より電気抵抗率が高い非磁性体を用いることで、第2界磁用磁石の内側とシャフト22間には磁氣的にも、電氣的にも絶縁を行う効果がある。

【0055】前記第2界磁用磁石と前記シャフト間には回転運動と往復運動及び複合運動を案内出来るようにスリーブ41の内側に支持機構40A、40Bを備えた。

【0056】第2回転子20Bはシャフトの一部にボルトのネジ部23Aとお互いにネジの機能を持たせて接続され、第2界磁用磁石の側面から離れたところには可変可能なストッパー24を設ける。ストッパー24とシャフト間、ストッパーと第2回転子20Bの側面間には回転運動と往復運動及び複合運動を案内出来るように支持機構42、47を設ける。支持機構42はスラスト軸受の機能を持ち、支持機構47はラジアル軸受でありながら回転運動と往復運動及び複合運動を案内する機能を持つ。

【0057】さらに、ばね48を設けることで、支持機構42はスラスト軸受としてその機能が向上する効果がある。

【0058】ストッパー24はシャフトと平行に可変可能なサーボ機構の一例として、電磁クラッチについて述べる。

【0059】電磁クラッチの構成は、ヨーク44にコイル46が巻かれて、ストッパー24は可動鉄心の機能を兼用することで良い。ヨーク44とコイル46は発電機のフレーム49、若しくはハウジングの一部に（図に示せず）固定し、ヨーク44とストッパー24の間にばね45を備えて励磁遮断時の復帰装置の機能を持つ。発電機のフレーム49とシャフト22の間には軸受50で支える。

【0060】図8はコイル46に無励磁状態の概略であり、図9はコイル46に励磁状態の概略を示す。

【0061】コイル46を励磁することでヨーク44は強力な電磁石となり、可動鉄心の機能を兼用するストッパー24を吸引する。

【0062】コイル46を励磁してストッパー24を吸引する時には、シャフト22に対して第2回転子20Bはボルトのネジ部からナット部が外れるように第1回転子20Aと第2回転子20Bの間隔が広がりながら回転するようにトルクを加えれば、コイル46に流す電流の負担が少なくて済む。

【0063】ここに示した電磁クラッチはストッパー24をシャフトと平行に可変可能なサーボ機構の一例であり、油圧アクチュエータ、回転機とボールネジなどによる直線駆動装置、リニアモータなどを用いることで、より細かなストッパーの位置決めが可能である。

【0064】図10は第2回転子20Bの内側に固定されるスリーブ41の一例を示す。

【0065】それらの固定方法の一つとして、第2回転子20Bとスリーブ41からなる2つの部品の接する面のお互いに凸凹を設けて固定した。また、シャフト22に固定した第1回転子20Aとシャフト22と分離した第2回転子20Bの内側違いの概略を示す。

【0066】図11は本発明の他の実施例を示す。

【0067】前記第1界磁用磁石と前記第2界磁用磁石が接する前記第1界磁用磁石側面に凹部53を設け、前記第2界磁用磁石には前記スリーブの機能を兼ねた突起部54を設けた構造である。突起部54はスリーブ41と一体ものでも良いし、第2回転子20Bと一体ものでも良い。よって、スリーブ41の十分なスペースが確保出来、ばね48、支持機構40A、40B、ナット部23Bらを有効に配置することで、第2回転子20Bの軸長積厚が薄い発電機に有効な手法の一つである。

【0068】図12は本発明の他の実施例を示す。

【0069】図12に示す基本構成要素は図8と同じであるが、電磁クラッチに相当する一部を変更した一例である。図12はコイル46が励磁状態であり、励磁遮断時はばね45によりヨーク44とストッパー24は切り離れる。また、第2回転子20Bにトルクが加わるボルトのネジ部23Aとナット部23Bの相互作用によるネジの機能により推力が得られる特性を持つ。よって、ネジとトルクの相互関係でストッパー24を押し出す推力が加われば、コイル46の励磁を遮断するとストッパー24はヨーク44と切り離れる。ヨーク44はアーム52を介してフレーム49、若しくはハウジングの一部に（図に示せず）固定される。

【0070】図12に示す電磁クラッチは、図8、図9の説明と同じくストッパー24をシャフトと平行に可変可能なサーボ機構の一例であり、油圧アクチュエータ、回転機とボールネジなどによる直線駆動装置、リニアモータなどを用いることで、より細かなストッパー24の位置決めが可能である。

【0071】勿論、各図に示した各々の構成要素は様々な方法で組合わせることが可能であり、用途に合わせて加えたり、取り外すことは言うまでもない。

【0072】図13は本発明の他の実施例を示す。

【0073】本発明の発電機の特徴として、第1回転子20Aはシャフト22に対してしっかり固定されているのに対して、第2回転子20Bはシャフト22に対して自由度を持つことになる。従って、第2回転子20Bとシャフト22間にはわずかな機械的な寸法の遊びがあ

り、大きなトルクや遠心力などが加わると偏心することもあり得る。よって、第1界磁用磁石を有する第1回転子20Aと前記固定子間のエアギャップGap1より第2界磁用磁石を有する第2回転子20Bと前記固定子間のエアギャップGap2の方が大きくしたことで、偏心による第2回転子20Bと前記固定子との機械的な接続を省く効果がある。

【0074】ストッパ24と第2回転子20Bの間、第1回転子20Aと第2回転子20Bの間には、ばね48、ばね51を複数個設けることで、第2回転子20Bの急激な変動を押さえたり、トルク方向による動きを補助する効果がある。

【0075】図14は本発明の他の実施形態をなす発電機を示す。

【0076】前記図2に示した第2回転子のネジ部23をなくし、回転角 $\theta$ 分可変できる機構を設けたことを特徴とする永久磁石形同期発電機である。

【0077】前記図2に示した第2回転子のネジ部分の代わりに、シャフト22に歯車のように凹凸を設けて、第2回転子20Bの内径側にはシャフトが挿入できるように凸凹を設ける。ただし、シャフト22を第2回転子20Bの内径側に挿入したときには、かみ合う歯の幅より溝の幅を大きくして所定の回転角 $\theta$ 分可変できるようにする。さらに、かみ合う歯と溝の間にはスプリング26とダンパー27を設けることで、急な衝突を和らげる効果がある。

【0078】以上の本発明の説明では、4極機を対象に述べたが、6極機、又は、8極機以上に適用出来る事は言うまでもない。一例として、図16には本発明を8極機に適用した場合の永久磁石形同期発電機の回転子概略図を示す。また、回転子においては埋め込み磁石形でも、表面磁石形でも適用出来る事は言うまでもない。

【0079】

【発明の効果】本発明の永久磁石形同期発電機は第1界磁用磁石と第2界磁用磁石に分割した回転子を同一軸上に配置したトルク方向により第1と第2の界磁用磁石の磁極中心を変化させるという構成により、固定子磁極と対向する永久磁石による有効磁束量を可変出来るという効果がある。

【0080】特に、風力発電システムの主軸発電機の弱め界磁が簡単に出来、広範囲可変速制御には大きな効果がある。発電機構造が簡単になることにより、発電機が軽量になるため、タワーの構造が簡単になるという効果

がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施例の永久磁石形同期発電機を配置した風力発電システムの概略を示す。

【図2】図1の風力発電システムタワー上部の概略を示す。

【図3】図1の発電機の回転子同磁極中心がずれた場合概略を示す(その1)。

【図4】図1の発電機の回転子同磁極中心が揃った場合概略を示す。

【図5】図1の発電機の回転子同磁極中心がずれた場合概略を示す(その2)。

【図6】図1の発電機の回転角速度に対する諸特性を示す。

【図7】図1の発電機の制御ブロック図を示す。

【図8】本発明の他の実施形態をなす発電機を示す(アクチュエータOFF状態)。

【図9】本発明の他の実施形態をなす発電機を示す(アクチュエータON状態)。

【図10】本発明の他の実施形態をなす発電機の回転子の内側を示す。

【図11】本発明の他の実施形態をなす発電機の回転子の内側を示す。

【図12】本発明の他の実施形態をなす発電機を示す(アクチュエータON状態)。

【図13】本発明の他の実施形態をなす発電機の回転子概略図を示す(Gapの差を付ける)。

【図14】本発明の他の実施形態をなす発電機の回転子の概略図を示す。

【図15】本発明の他の実施形態をなす発電機の軸方向変位測定の概略図を示す。

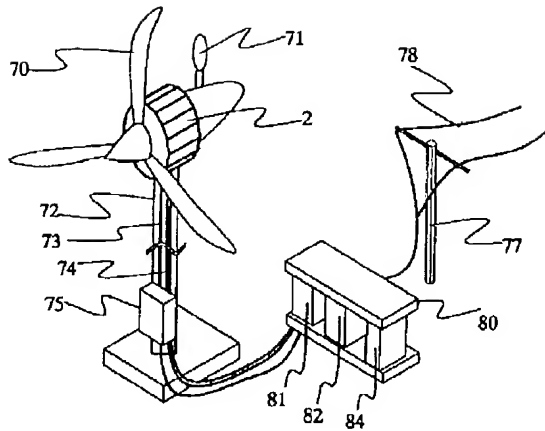
【図16】本発明の他の実施形態をなす発電機の回転子概略図を示す(8極機に適用した場合)。

【符号の説明】

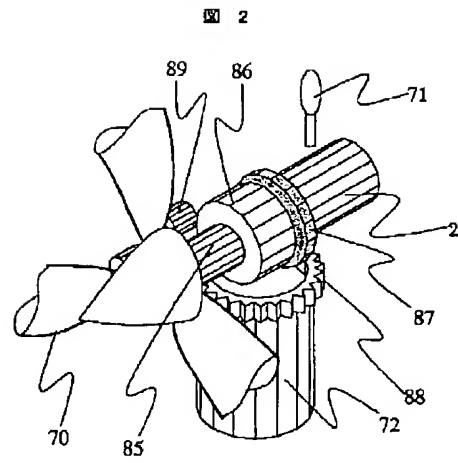
2…発電機、10…固定子鉄心、11…電機子巻線、12…冷却路、13…ハウジング、20…回転子、20A…第1回転子、20B…第2回転子、21…永久磁石、21A…第1回転子永久磁石、21B…第2回転子永久磁石、22…シャフト、23…ネジ、24…ストッパ、25…ストッパ駆動用アクチュエータ、26…ばね、27…ダンパー、101…運転判断部、102…電流制御、103…回転座標変換部、104…インバータ、105…2軸変換部。



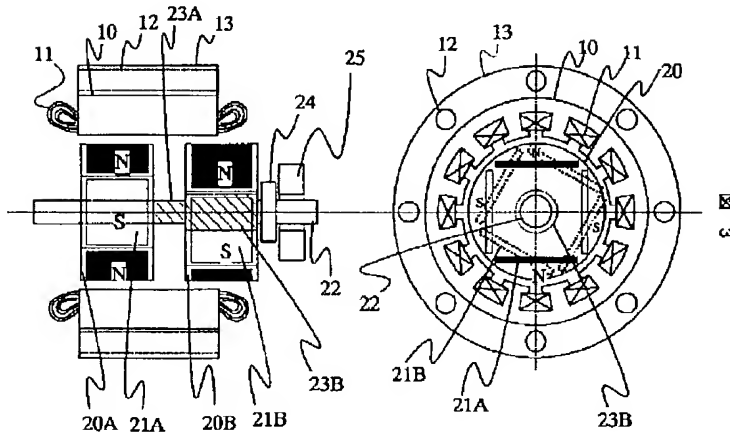
【図1】



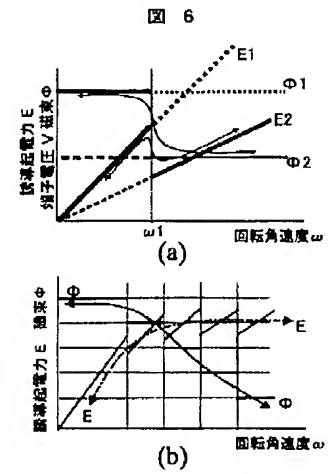
【図2】



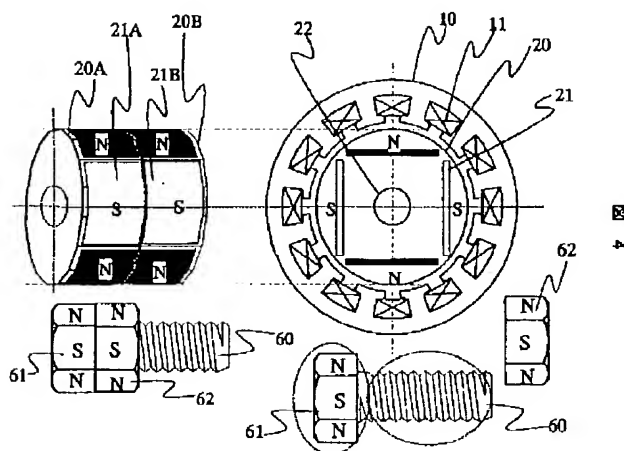
【図3】



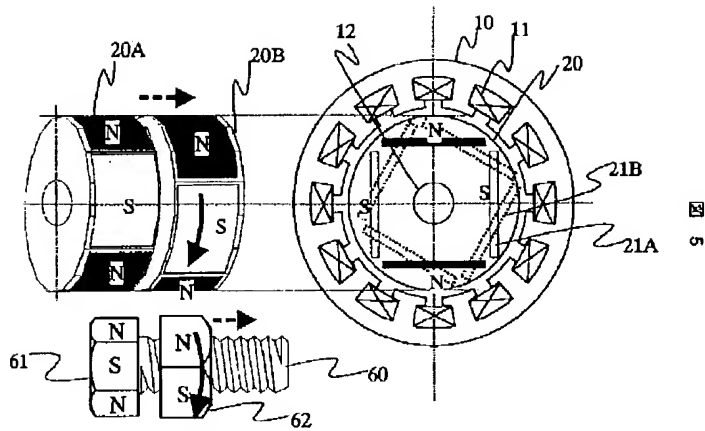
【図6】



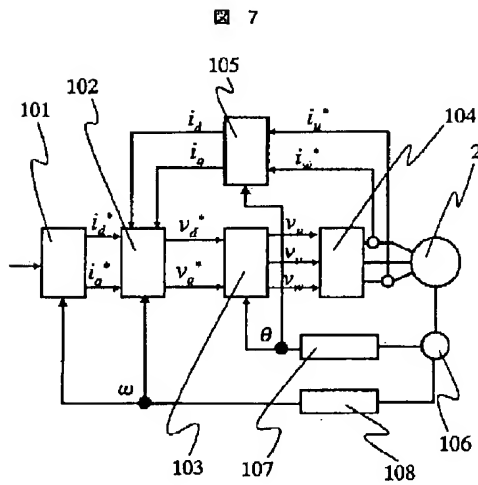
【図4】



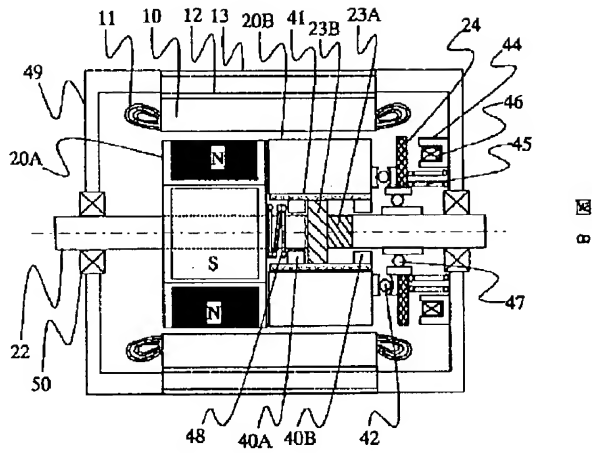
【図5】



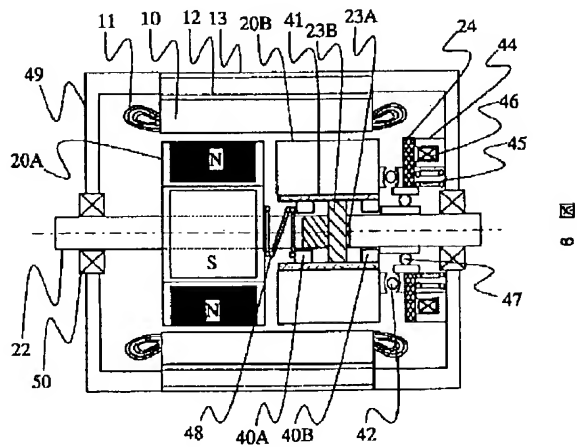
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

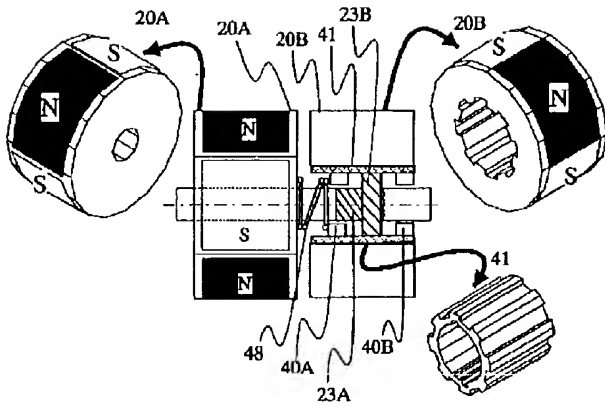


図 10

【図11】

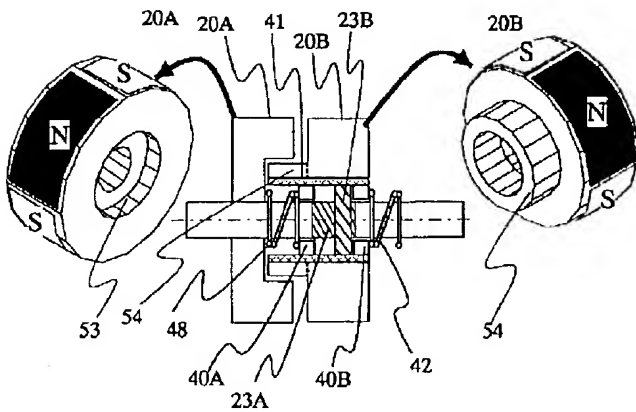


図 11

【図12】

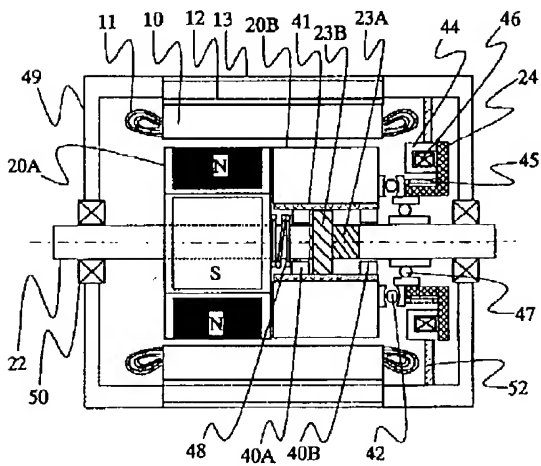


図 12

【図13】

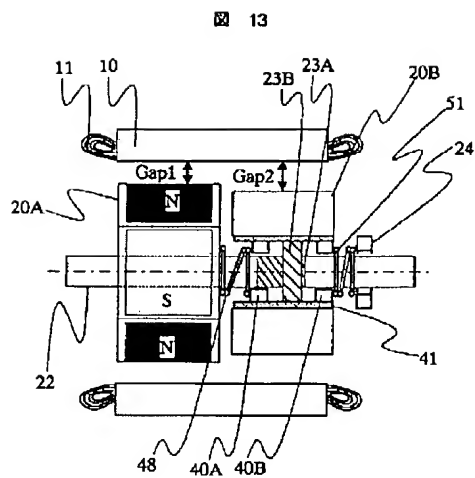


図 13

【図14】

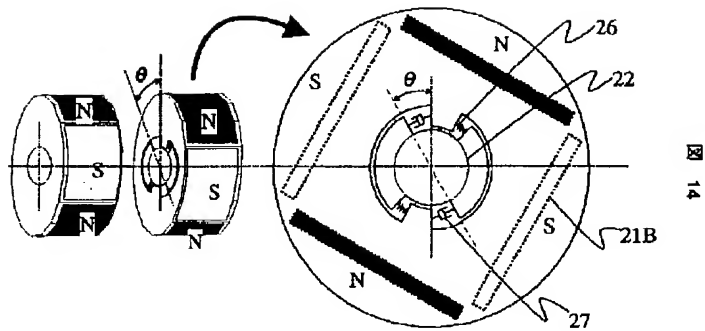


図 14

【図15】

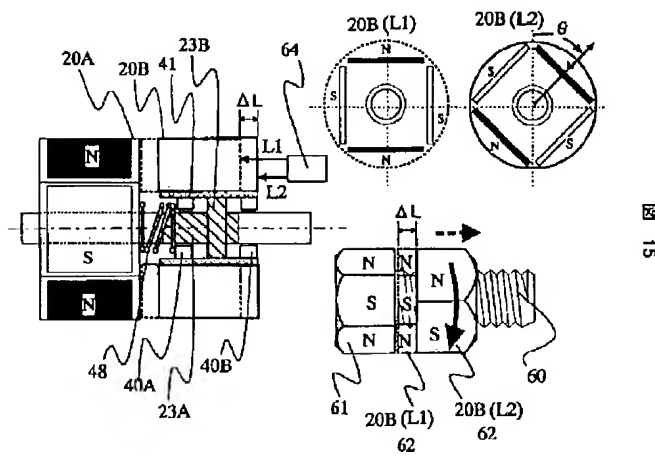


図 15

【図16】

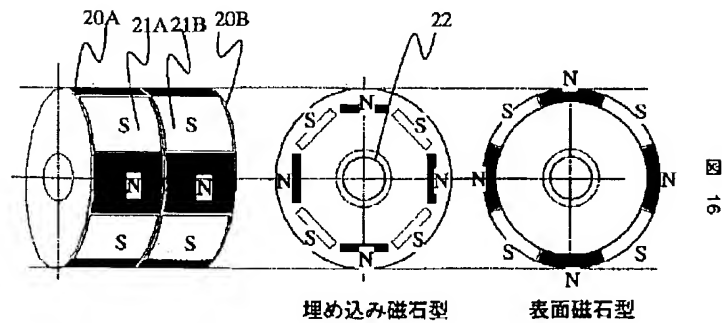


図 16

## 【手続補正書】

【提出日】平成13年7月23日(2001.7.23)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】翼を装着する主軸と、前記翼の回転力を伝達する主軸と結合された発電機と、前記発電機の電力を変換するインバータと、前記インバータを制御するコントローラと、風速条件に合った翼のピッチを制御する手段と、ブレイキと、風速風向計からなる風力発電システムにおいて、

前記発電機は一次巻線を有する固定子と界磁用磁石を有する回転子からなり、前記界磁用磁石は、回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第1の界磁用磁石とこの第1の界磁用磁石に対して相対回転が可能で回転方向に順次異なった極性の磁極が並んでいる第2の界磁用磁石からなり、前記の第1と第2の界磁用磁石は前記固定子磁極に対向しているとともに、前記の第1と第2の界磁用磁石の合成した磁極の位相を第1の界磁用磁石の磁極に対して回転子のトルク方向に伴い変化させる機構を有し、このトルク方向に伴い変化させる機構は、回転子に発生するトルク方向と第1と第2の界磁用磁石間の磁気作用力との釣合いにより前記第1と第2の界磁用磁石の同磁極中心を一致させる手段と、回転子に発生するトルク方向が反対になるに伴い第1と第2の界磁用磁石の磁極中心をずらす手段とを有する発電機を用いる風力発電システム。

【請求項2】請求項1記載の風力発電システムにおいて、前記発電機は前記第1と第2の界磁用磁石を初期位置に並ばせる手段と、第1と第2の界磁用磁石の磁極中心がずれる手段とを有し、トルク方向の変化に伴い磁極中心を変化させる機構は、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトと第2界磁用磁石は磁極1極分の角度内で変位可能にし、前記第1界磁用磁石の磁極中心と第2界磁用磁石の磁極中心をずらすようにした発電機を用いる風力発電システム。

【請求項3】請求項1または請求項2記載の発電機において、トルク方向の変化に伴い磁極中心を変化させる機構は、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続し、第2界磁用磁石の側面から離れたところにはストッパーを設け、ストッパーを回転速度に応じてシャフトと平行に可変可能なサーボ機構を持たせた発電機を用いる風力発電シ

テム。

【請求項4】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれに応じて前記インバータを制御するコントローラによる電流供給の進角を補正することを特徴とする発電機。

【請求項5】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、シャフトにはボルトのネジ部と第2界磁用磁石の内側にはナット部になりお互いにネジの機能を持たせて接続し、前記第2界磁用磁石の軸方向の変位量を検出し、第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の合成磁極位置のずれ角に対応させ前記インバータを制御するコントローラによる電流供給の進角を補正することを特徴とする発電機。

【請求項6】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第2界磁用磁石と前記シャフト間には回転運動と往復運動及び複合運動を案内出来る支持機構を複数個備えたことを特徴とする発電機。

【請求項7】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第2界磁用磁石の前後にはばねを複数個備えて、前記第2界磁用磁石の回転運動と往復運動及び複合運動を案内する特徴とする発電機。

【請求項8】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、かつ前記第2界磁用磁石の内側とシャフトの間にはスリーブを介して、前記第2界磁用磁石と前記スリーブを固定したことを特徴とする発電機。

【請求項9】請求項8のスリーブは、鉄より電気抵抗率が低い非磁性体を用いたことを特徴とする発電機。

【請求項10】請求項1から請求項3記載の発電機において、前記第1界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、前記第1界磁用磁石と前記第2界磁用磁石が接する前記第1界磁用磁石側面に凹部を設け、前記第2界磁用磁石には前記スリーブの機能を兼ねた突起部を設けた構造を特徴とする発電機。

【請求項11】請求項1から3記載の発電機において、前記第1の界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、第2界磁用磁石の側面から離れたところにはストッパーを設け、前記ストッパーは第2界磁用磁石とシャフトに対して回転運動と往復運動及び複合運動を案内する支持機構を備えたことを特徴とする発電機。

【請求項12】請求項1から3記載の発電機において、前記第1の界磁用磁石はシャフトに固定し、前記第2界磁用磁石はシャフトと分離すると共に、第1界磁用磁石を有する回転子と前記固定子間のエアギャップより第2界磁用磁石を有する回転子と前記固定子間のエアギャップの方が大きくしたことを特徴とする発電機。

【請求項13】請求項1から請求項3記載の風力発電システムにおいて、前記発電機の低速運転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置を一致させ、

高速運転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置をずらして運転する発電機を用いることを特徴とする風力発電システム。

【請求項14】請求項1記載の風力発電システムにおいて、前記発電機の一方向の回転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置を一致させ、他方の回転時は前記第1界磁用磁石と第2界磁用磁石の磁極中心位置をずらして運転する発電機を用いることを特徴とする風力発電システム。

フロントページの続き

(51)Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>1</sup> (参考)
H 0 2 K 15/03		H 0 2 K 15/03	Z
16/02		16/02	
21/14		21/14	G
H 0 2 P 9/00		H 0 2 P 9/00	F
9/48		9/48	A

Fターム(参考) 3H078 AA02 AA26 BB04 BB18 BB19  
CC02 CC13 CC15 CC22 CC66  
CC73  
5H002 AA05 AA09 AB05 AB07 AE08  
5H590 AA02 AB15 CA14 CC02 CC24  
CE02 CE05 HA04 HB03  
5H621 AA02 AA03 BB10 GA01 HH01  
JK02 PP01 PP10  
5H622 AA03 CA02 CA05 CB02 CB03  
CB06 PP03 PP11 PP19 QB03